

Evaluation of Endotoxin Concentration and Reducing its Level during Treatment Process in a Drinking Water Treatment Plant in Tehran

Mohamadreza Massoudinejad¹,
Mohammad Rafiee²,
Mohammad Ali Esmaili³,
Mohsen Mohseni⁴,
Asma Aliyari⁵

¹ Professor, Department of Environmental Health Engineering, Safety Promotion and Injury Prevention Research Center, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Biology, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ PhD Student in Environmental Health Engineering School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received May 17, 2015 Accepted October 2, 2016)

Abstract

Background and purpose: Access to safe drinking water is of the utmost importance in public health around the world. Presence of contaminants, such as secondary bacterial growth and endotoxins could reduce the quality of water resources. This study aimed at investigating the occurrence, seasonal variation, and removal of endotoxins in a conventional water treatment plant (WTP) in Tehran, Iran.

Materials and methods: A total of 36 samples was collected on a monthly basis from raw water and treated water in each unit of Tehran-pars drinking WTP during summer and fall (2015). Endotoxin concentrations were assessed using the Endpoint Chromogenic Limulus Amebocyte Lysate (LAL) detection method. Furthermore, turbidity, heterotrophic plate count (HPC) and pH measurements were done to assist in the analysis of data.

Results: The mean values for the total endotoxin activities in summer and fall in the raw water were 44-54.5 and 17.62-54.5 Eu/ml, respectively. The results demonstrated a 34% decrease in endotoxin activity following the full-scale treatment process at the WTP. The highest concentration of endotoxin was detected in summer. Coagulation, clarification and sand filtration resulted in the highest endotoxin removal (38.16 %), while chlorination contributed to the concentration of total endotoxins by 5.6-6.7%.

Conclusion: Water treatment processes aiming at the removal of particulate matter in the WTP revealed the most effective removal rates of total endotoxins. However, endotoxin contamination exists in the drinking water treated.

Keywords: endotoxin, water treatment plant, LAL test, cyanobacteria, gram negative bacteria

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26 (144): 127-135 (Persian).

بررسی میزان اندوتوکسین و کاهش سطح آن طی روش های تصفیه در یک تصفیه خانه آب آشامیدنی در شهر تهران

محمدرضا مسعودی نژاد^۱

محمد رفیعی^۲

محمدعلی اسماعیلی^۳

محسن محسنی^۴

اسماء علی یاری^۵

چکیده

سابقه و هدف: دسترسی به آب آشامیدنی سالم یکی از جدی ترین بحران های بهداشت عمومی در سراسر جهان به شمار می رود. حضور انواع آلودگی ها از جمله آلودگی های میکروبی ثانویه و اندوتوکسین ها می تواند افت کیفیت منابع آبی را در پی داشته باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی میزان بروز و تغییرات فصلی اندوتوکسین ها در یک تصفیه خانه متداول آب آشامیدنی در شهر تهران است.

مواد و روش ها: مجموعاً تعداد ۳۶ نمونه بصورت ماهانه از آب خام و آب تصفیه شده هر واحد تصفیه خانه آب تهران پارس در طی تابستان و پاییز ۱۳۹۴ جمع آوری گردید. غلظت اندوتوکسین با استفاده از روش نقطه پایانی کرموزنیک آزمون لیمولوس آمبوسیت لایست Endpoint Chromogenic Limulus Amebocyte Lysate (LAL) تعیین شد. هم چنین سنجش کدورت، شمارش باکتری های هتروترف (HPC)، کلرباقیمانده و pH برای کمک به آنالیز نتایج انجام گردید.

یافته ها: متوسط فعالیت اندوتوکسین کل در ورودی تصفیه خانه در فصل تابستان ۵۴/۵-۴۴ و در پاییز ۵۴/۵-۵۴/۵ بود. راندمان کاهش غلظت اندوتوکسین در طی فرآیند تصفیه آب در تصفیه خانه ۳۴ درصد به دست آمد. بیش ترین غلظت اندوتوکسین در فصل تابستان بود. بیش ترین کاهش اندوتوکسین در طی فرآیندهای انعقاد، زلال سازی و فیلتراسیون شنی (۳۸/۱۶ درصد) رخ داد، در حالی که فرآیند کلرزی باعث افزایش ۵/۶ تا ۶/۷ درصدی در غلظت اندوتوکسین کل گردید.

استنتاج: فرآیندهای تصفیه آب مرتبط با حذف مواد ذره ای در تصفیه خانه آب، حذف موثرتر اندوتوکسین کل را نشان دادند. با این حال، آلودگی اندوتوکسین در آب آشامیدنی تصفیه شده هم چنان وجود دارد.

واژه های کلیدی: اندوتوکسین، تصفیه خانه آب، آزمون LAL، سیانو باکترها و باکتری های گرم منفی

مقدمه

دسترسی به آب آشامیدنی سالم به یکی از جدی ترین بحران های بهداشت عمومی در جهان تبدیل شده است (۱). طبق گزارشات منتشر شده WHO، آب مصرفی بیش از یک میلیارد نفر، و یا به عبارت دیگر یک نفر از هر پنج نفر بر روی زمین، ناسالم بوده و به طور بالقوه منجر به بیماری و مرگ می شود (۲). کنترل آلودگی آب در دو

E-mail: asmaaliyari@yahoo.com

مؤلف مسئول: علی یاری - تهران: دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصادومیت های، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. استادیار، مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه بیولوژی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۸ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۵/۲/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۱۱

دهه گذشته بیش تر بر روی عوامل شیمیایی متمرکز بوده، و هر چند اقدامات مهمی در این رابطه انجام شده، خطرات مرتبط با آلاینده های میکروبی هنوز به قوت خود باقی مانده، شیوع یافته و تشدید می شوند. به دلیل آلودگی آب با میکروارگانیسم ها، برای یک پنجم از جمعیت جهان، این آب برای شرب ناسالم بوده و بنابراین حفظ کیفیت و سلامت آب آشامیدنی نسبت به قبل اهمیت بیش تری پیدا کرده است. طی این سال ها تحقیقات و مباحث مرتبط با آب عمدتاً بر روی کمیت آن متمرکز بوده اند، اما انتظار می رود تاسیسات آب آشامیدنی در آینده با چالش های متعدد کیفیت مواجه گردند. بر این اساس، حذف عوامل بیماری زا در آب خام از نگرانی های بزرگ بوده است. با این حال، هنوز در مورد اجزای مضر میکروارگانیسم ها مانند اندوتوکسین اطلاعات زیادی وجود ندارد (۱-۳). در علم باکتری شناسی واژه اندوتوکسین به ترکیب پیچیده لیپوپلی ساکاریدی که بخشی از دیواره سلولی خارجی بسیاری از باکتری های گرم منفی و برخی سیانوباکترها را تشکیل می دهد اختصاص دارد (۴) و در پزشکی نیز گاهی برای اشاره به هر گونه سم نشات گرفته از درون سلول استفاده می شود (۵-۷). اندوتوکسین جدا شده از جدار خارجی باکتری های گرم منفی از نظر شیمیایی حاوی سه قسمت اصلی لیپید A، هسته پلی ساکارید و آنتی ژن O است (۹۸). زمانی که دیواره سلولی باکتری های گرم منفی در طی تکثیر، مرگ یا لیز شدن صدمه می بیند این اندوتوکسین در مقادیر زیاد آزاد می شود. اندوتوکسین ها در برابر حرارت نسبتاً پایدار بوده (۱۲۱) درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت) و توسط استریلیزاسیون مرطوب (اتوکلاو) از بین نمی روند (۱۰-۱۲). یکی از مشهورترین اثرات اندوتوکسین تب زائی است، لیکن زمانی که از دوز کافی برخوردار باشد سبب اسهال، استفراغ، کاهش فشارخون سیستولیک، فعال شدن سیستم های انعقاد خون، تغییر متابولیسم قندها و چربی ها، ایجاد التهاب، خونریزی، شوک سپتیک و نهایتاً مرگ می شود (۱۳-۱۵). از اواخر دهه ۱۹۸۰ غلظت اندوتوکسین

(ویا دقیق تر فعالیت اندوتوکسین) در واحد اندوتوکسین (Eu) به جای واحد وزن (عموماً ng/ml) به کار می رود که نشان دهنده این واقعیت است که قدرت اندوتوکسین به جنس باکتری، گونه، زیرگونه و در موارد خاص دسته ای که اندوتوکسین از آن جدا شده است، بستگی دارد (۸). در حال حاضر به علت کمبود اطلاعات در مورد پیدایش اندوتوکسین، اثرات احتمالی و حذف آن در طی فرایندهای تصفیه ی آب، مقادیر رهنمودی نیز برای آن تنظیم و اعلام نشده است (۱۴، ۱۶). ورود مواد مغذی یکی از مهم ترین دلایل افت کیفیت در منابع آب است. این مواد باعث رشد میکروارگانیسم ها و عوامل فتوسنتز کننده مثل سیانوباکترها می شوند، که خود از عوامل مهم تولید و ورود مواد سمی از جمله اندوتوکسین در منابع آب هستند. هم چنین برخی از میکروارگانیسم ها می توانند در طی فرآیندهای تصفیه آب زنده مانده و اندوتوکسین آزاد کنند. حضور اندوتوکسین در محیط های آبی ممکن است خطر جدی برای ایمنی آب شرب و بهداشت عمومی ایجاد نماید. اغلب باکتری های تشکیل دهنده بیوفیلم در منابع آبی و شبکه های آب رسانی به گروه باکتری های گرم منفی تعلق دارند که دیواره سلولی آن ها حاوی اندوتوکسین است. مطالعات محدودی در مورد فعالیت اندوتوکسین موجود در آب های سطحی، زیرزمینی، آب لوله کشی و خروجی تصفیه خانه های آب شرب منتشر شده است. نتایج این مطالعات نشان می دهند غلظت اندوتوکسین در آب های خام از ۱ تا ng/ml ۱۰۴۹ متغیر است و در آب های زیرزمینی در محدوده ۳۰-۲۰۰ Euml قرار دارند که بیش تر در محدوده ۳۰-۱ قرار دارند (۱۴، ۱۵). مطالعه ای جهت بررسی تخریب اکسیداتیو اندوتوکسین توسط فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (UV/H₂O₂, O₃/H₂O₂) در سال ۲۰۱۴ در کره جنوبی انجام شد. نویسندگان گزارش کردند فرآیند اکسیداسیون پیشرفته به دلیل ایجاد رادیکال هیدروکسیل، یک روش موثر و معتدل برای تخریب اندوتوکسین در سیستم های آبی است (۵). رضایی و

همکاران گزارش کردند فرایند ازن زنی کاتالیتیکی غیرهمگن در حضور خاکستر استخوان باعث حذف ۸۰ درصدی اندوتوکسین گردید (۱۷). نتایج تحقیق اندرسون و همکاران نشان داد کاربرد UV تا 500 mJ/cm^2 باعث غیرفعالسازی کامل و موثر اندوتوکسین در آب آشامیدنی می گردد. اگرچه امکان سنجی اقتصادی چنین دوزهای بالایی برای یک تصفیه خانه، باید در نظر گرفته شود (۱۸).

حضور و غلظت اندوتوکسین را می توان با استفاده از سلول های خونی خرچنگ نعل اسبی (آزمون LAL) تعیین کرد. تصفیه خانه های سوم و چهارم (تهران پارس) در شمال شرقی تهران واقع شده اند. تصفیه خانه شماره ۳ در سال ۱۳۴۶ و تصفیه خانه شماره ۴ در سال ۱۳۶۳ هجری شمسی هر کدام با ظرفیت طراحی ۴ مترمکعب در ثانیه به بهره برداری رسیده اند. آب خام ورودی این تصفیه خانه ها از سد لثیان و از طریق تونل تلو به طول حدود ۱۰ کیلومتر و قطر ۲/۷ متر تامین شده و پس از انجام فرآیندهای مختلف تصفیه متداول (فیزیکی - شیمیایی)، آب مناطق شرقی و بخش هایی از شمال، مرکز و جنوب شهر تهران را تامین می کنند. شناسایی و توسعه راه کارهای مناسب جهت حذف آلاینده ها از منابع آب های سطحی، زیرزمینی و آب لوله کشی شده به منظور تامین آب آشامیدنی سالم و حفظ بهداشت عمومی امری اجتناب ناپذیر است.

از این رو، ارزیابی غلظت اندوتوکسین سیانوباکتری ها و باکتری های گرم منفی در طی فرآیندهای متداول تصفیه آب آشامیدنی در دو فصل تابستان و پاییز در تصفیه خانه آب تهران پارس و آب خروجی از آن در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

نمونه برداری از آب به صورت لحظه ای در دو فصل تابستان و پاییز از آب خام ورودی به تصفیه خانه، آب خروجی از واحدهای پیش کلرزنی، زلال ساز، فیلتراسیون شنی، کلرزنی نهایی و یک نقطه از شبکه توزیع (نزدیک به تصفیه خانه) انجام گردید. هم چنین سنجش pH،

HPC و کدورت جهت بررسی رابطه احتمالی آن ها با اندوتوکسین، مدنظر قرار گرفت. آزمون نقطه پایانی کرموژنیک لیمولوس آمبوسیت لایست (LAL)، یک تست کمی برای اندازه گیری اندوتوکسین است.

در این مطالعه کیت اندازه گیری اندوتوکسین Endpoint Chromogenic LAL QCL-1000™ از شرکت Lonza خریداری و مراحل انجام آزمایشات مربوطه مطابق با دستورالعمل ارائه شده در کیت تهیه شده و با استفاده از دستگاه میکروپلیت XS2 شرکت BioTek انجام شد. وجود اندوتوکسین در نمونه سبب ایجاد رنگ زرد می شود. جذب نمونه توسط اسپکتروفتومتر در ۴۱۰-۴۰۵ نانومتر تعیین و غلظت اندوتوکسین از منحنی استاندارد محاسبه گردید. بطری های شیشه ای نمونه برداری حداقل به مدت ۱ ساعت در دمای 250°C در آون قرار گرفته و عاری از اندوتوکسین گردیدند (۱۹،۵). شمارش بشقابی باکتری های هتروتروف (HPC) نیز براساس دستورالعمل ذکر شده در کتاب روش های استاندارد برای آزمایش های آب و فاضلاب (نسخه ۲۰) و در شرایط انکوباسیون 35°C به مدت ۴۸ ساعت انجام گرفت. از دستگاه کدورت سنج شرکت HACH مدل 2100AN برای سنجش کدورت نمونه ها و از دستگاه pH متر CORNING مدل ۱۲۰ برای سنجش pH استفاده گردید (۲۰). برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد. آزمون شاپیرو ویلک برای سنجش نرمالیتی داده ها و آزمون تی زوجی برای تعیین اثر واحدهای مختلف بر غلظت اندوتوکسین در ورودی و خروجی هر واحد تصفیه خانه استفاده گردید. جهت تعیین ارتباط بین غلظت اندوتوکسین با شمارش باکتری های هتروتروفیک در ورودی و خروجی هر واحد تصفیه خانه، از ضریب همبستگی پیرسون ($p < 0.05$) استفاده گردید.

یافته ها

جداول شماره ۱ و ۲ به ترتیب خصوصیات فرآیندی

تصفیه خانه آب تهران پارس و ویژگی های آب خام ورودی به تصفیه خانه را نشان می دهند.

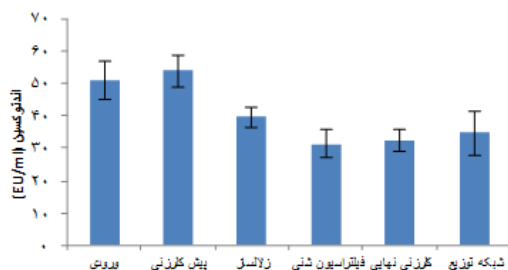
جدول شماره ۱: خصوصیات فرآیندی تصفیه خانه های آب تهرانپارس

تصفیه خانه		
شماره ۴	شماره ۳	
سد لتیان	سد لتیان	محل برداشت آب
۱۳۶۳	۱۳۴۶	سال بهره برداری
۴	۴	ظرفیت اسمی (m^3/s)
۴/۵	۴/۵	حداکثر ظرفیت بهره برداری (m^3/s)
دارد	ندارد	توری آشغالگیر
گاز کلر	گاز کلر	پیش کلرزی
دارد	ندارد	استخر ته نشینی مقدماتی
پولساتور	پولساتور	نوع دستگاه زلال ساز
ماسه ای تند ثقلی (آکوازور V)	ماسه ای تند ثقلی (آکوازور T)	صاف سازی
کلرور فریک	کلرور فریک	ماده منعقد کننده
شیر آهک	شیر آهک	ماده تنظیم کننده pH
گاز کلر	گاز کلر	ماده گندزدا

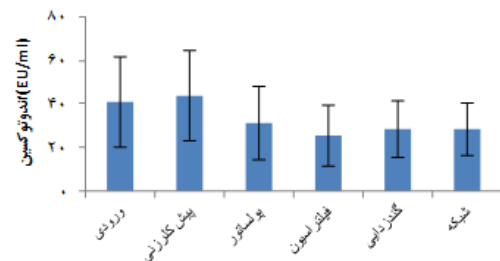
جدول شماره ۲: ویژگی های آب خام ورودی به تصفیه خانه آب تهرانپارس در فصول تابستان و پاییز

واحد	میانگین تابستان	میانگین پاییز
EU/ml	۵۰/۷۵±۵/۸۳	۴۱/۱۹±۲۰/۴۷
CFU/ml	۹۳۴۳/۳۳±۱۶۱۵۷/۲	۱۴/۳۳±۴/۰۴
NTU	۶/۷۵±۴/۵۲	۱۱/۴۱±۲/۸۴
-	۷/۸۵±۰/۱۲۵	۷/۶۵±۰/۲۴
mg/L	۰/۳۳±۰/۱۱	۰±۰

تصفیه خانه، مجموعاً کاهش ۳۴/۰۱ درصدی در غلظت اندوتوکسین را نشان می دهند. تغییرات غلظت اندوتوکسین کل در طی فرآیندهای تصفیه در دو فصل تابستان و پاییز در نمودارهای ۱ و ۲ نشان داده شده است.



نمودار شماره ۱: میانگین غلظت اندوتوکسین کل در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل تابستان



نمودار شماره ۲: میانگین غلظت اندوتوکسین کل در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل پاییز

همان گونه که در این نمودارها نشان داده شده است، غلظت اندوتوکسین بعد از واحدهای انعقاد، زلال سازی و فیلتراسیون شنی کاهش یافته و در طی فرآیند کلر زنی و هم چنین در شبکه توزیع غلظت اندوتوکسین افزایش می یابد. هم چنین غلظت های اندازه گیری شده اندوتوکسین در فصل تابستان بیش تر از مقادیر اندازه گیری شده در فصل پاییز است. روند تغییرات غلظت اندوتوکسین با HPC، کدورت و pH به ترتیب در نمودارهای ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

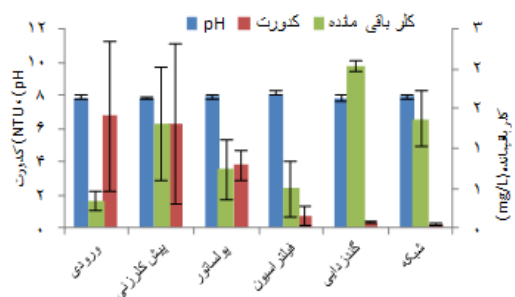
روند تغییرات غلظت کلر باقی مانده، کدورت و pH در خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصول تابستان و پاییز در نمودارهای ۳ و ۴ و هم چنین تغییرات HPC در فصول تابستان و پاییز در نمودار ۵ نشان داده شده است.

براساس نتایج به دست آمده، کدورت در آب ورودی تصفیه خانه از ۳/۳ تا ۱۴/۴ NTU متغیر بوده و با کاهش آن در آب خروجی تصفیه خانه به ۰/۱۷ NTU، راندمان کاهش ۹۶/۹ درصدی کدورت مشاهده گردید. هم چنین pH بین ۷/۵ تا ۷/۹ متغیر بود. تغییرات HPC در ماه های نمونه برداری بسیار متغیر بوده و غلظت های صفر تا ۲۸۰۰ CFU/ml در آب ورودی مشاهده گردید. این غلظت در خروجی تصفیه خانه نیز از صفر تا ۴۰۰ CFU/ml متغیر بود. غلظت اندوتوکسین در ورودی تصفیه خانه ۵۴/۵-۱۷/۶۲ Eu/ml و در آب تصفیه شده خروجی تصفیه خانه ۳۸/۹-۱۳/۹ Eu/ml بود. هم چنین غلظت اندوتوکسین در نقطه ای از شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) ۱۸/۴۲-۱۴/۲ به دست آمد. بر این اساس، فرآیندهای تصفیه آب به کار گرفته شده در این

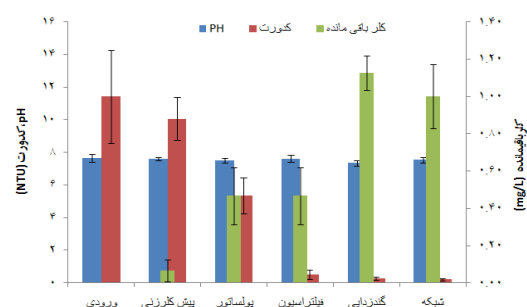
بحث

نتایج به دست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که غلظت اندوتوکسین در ورودی تصفیه خانه تصفیه خانه Eu/ml $54/5-17/62$ و در آب تصفیه شده خروجی تصفیه خانه Eu/ml $38/9-13/9$ بود. مجموعاً غلظت اندوتوکسین پس از عبور از فرآیندهای تصفیه کاهش ۳۴ درصد داشت. کن و همکاران فعالیت اندوتوکسین کل در آب خام تصفیه خانه را Eu/ml $11-16$ و در آب نهایی تصفیه خانه در دامنه Eu/ml $4-10$ گزارش نمودند که کاهش ۴۹ درصد در اثر فرآیند کامل تصفیه در تصفیه خانه آب را دارا می باشد (۱۴). غلظت اندوتوکسین در آب های تصفیه نشده جزیره مونتال در سال ۲۰۰۸ از Eu/ml 32 تا Eu/ml 1188 متغیر بود (۲۱). هم چنین رافالا و همکاران دامنه غلظت اندوتوکسین در آب خام را Eu/ml $18-356$ گزارش کردند و فرآیندهای تصفیه ۷۹-۵۹ درصد فعالیت اندوتوکسین را کاهش دادند. رنج غلظت اندوتوکسین در آب تصفیه شده Eu/ml $3-15$ بود (۲۲). تفاوت غلظت مشاهده شده اندوتوکسین در آب خام مورد مطالعه در این پژوهش در مقایسه با دیگر مطالعات می تواند به عوامل مختلفی از جمله نوع منبع تامین کننده آب و خصوصیات آن، شرایط آب و هوایی منطقه، مسیر انتقال آب از منبع تا تصفیه خانه و شرایط انتقال آب، فصول مختلف نمونه برداری و... وابسته باشد. هم چنین تفاوت در میزان کاهش غلظت اندوتوکسین در تصفیه خانه های مختلف علاوه بر نوع فرآیندهای تصفیه، می تواند به کیفیت و شرایط راهبری بهینه واحدهای تصفیه خانه، میزان بارگذاری سطحی و هم چنین غلظت اولیه و ماهیت اندوتوکسین و... بستگی داشته باشد.

در این مطالعه بیشترین کاهش در غلظت اندوتوکسین در طی مراحل اولیه تصفیه تا فیلتراسیون شنی (۳۸/۱۶ درصد) مشاهده شد. رافالا و همکاران نیز بیشترین کاهش فعالیت اندوتوکسین در طی مراحل اولیه تصفیه آب، در طی انعقاد، ته نشینی، و فیلتراسیون شنی گزارش کردند که با نتایج حاصل از این مطالعه

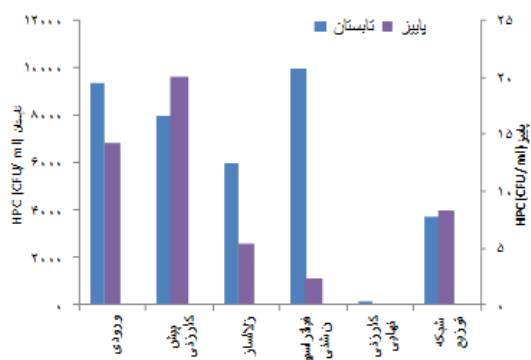


نمودار شماره ۳: روند تغییرات غلظت کلر باقیمانده، کدورت و pH خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل تابستان



نمودار شماره ۴: روند تغییرات غلظت کلر باقیمانده، کدورت و pH خروجی واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصل پاییز

همان طور که در نمودار شماره ۵ نیز قابل مشاهده است، تغییرات HPC در نوبت های مختلف نمونه برداری تغییرات بسیار زیادی داشته است که این تغییرات عموماً در فصل تابستان مشاهده می شود. هم چنین میانگین HPC نیز در فصل تابستان بسیار بیشتر از پاییز می باشد.



نمودار شماره ۵: میانگین HPC در واحدهای مختلف تصفیه و شبکه توزیع (نزدیک تصفیه خانه) در فصول تابستان و پاییز

مطابقت دارد (۲۲). هم‌چنین طبق گزارش کن و همکاران فرآیندهای متداول تصفیه آب (انعقاد، رسوب دهی و فیلتراسیون) مقادیر قابل توجهی از اندوتوکسین کل (بالای ۶۳ درصد) را حذف می‌کند (۱۴). اما گزارش گهر^۱ و همکاران حذف جزئی اندوتوکسین طی فرآیند فیلتراسیون شنی را نشان می‌دهد (۲۱). این تفاوت می‌تواند در ارتباط با ماهیت (محلول یا معلق بودن) اندوتوکسین در منابع آب مختلف باشد. اندوتوکسین در هر دو شکل آزاد و باندی (متصل به ذرات و دیواره سلولی باکتری) در سیستم‌های آبی وجود دارد و در هر دو شکل می‌تواند فعالیت بیولوژیکی داشته باشد. با توجه به این‌که اندوتوکسین یک ترکیب آبگریز است، بنابراین تمایل به تشکیل لخته در محیط دارد (۱۴، ۱۵). هم‌چنین در واحدهای اولیه تصفیه تا فیلتراسیون شنی راندمان ۹۳ درصدی حذف کدورت به دست آمده است، می‌توان نتیجه گرفت در طی فرآیندهایی از تصفیه آب که منجر به کاهش مواد ذره ای در فرآیند تصفیه می‌شوند، اندوتوکسین به‌طور موثرتری حذف می‌گردد. هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان داد که پیش کلرزنی باعث افزایش ۵/۶ و کلرزنی باعث افزایش ۶/۷ درصدی اندوتوکسین کل می‌شود. آزمون تی زوجی رابطه معنی‌دار را برای این تغییرات فقط در واحد پیش کلرزنی ($p=0/028$) نشان داد و تغییر در کلرزنی نهایی معنی‌دار نشد ($p>0/05$). کلرزنی سبب مرگ باکتری‌ها می‌شود و در نتیجه صدمه ایجاد شده به دیواره سلولی، اندوتوکسین آزاد و سطح آن افزایش می‌یابد. گهر و همکاران نیز گزارش کردند کلرزنی در غلظت‌های که بطور معمول در تاسیسات تصفیه آب استفاده می‌شوند، کم‌ترین اثر را روی سطح اندوتوکسین دارد (۲۵-۱۱ درصد) (۲۱). در حالی‌که هوانگ^۲ و همکاران گزارش کردند کلرزنی تحت شرایط به کار رفته در مطالعه آن‌ها، نمی‌تواند فعالیت اندوتوکسین را در خروجی ثانویه، به‌طور موثری کاهش دهد. افزایش زمان تماس و افزایش دوز کلر نیز

1. Gehr
2. Huang

نمی‌تواند فعالیت اندوتوکسین را در خروجی پساب کاهش دهد. این محققان نتیجه گرفتند که کلرزنی ممکن است فعالیت اندوتوکسین را در فاضلاب و در آب‌هایی با تعداد زیادی باکتری‌های گرم منفی، افزایش دهد (۳). کن و همکاران نیز نتیجه گرفتند فعالیت اندوتوکسین بعد از کلرزنی افزایش می‌یابد (۱۴). رضایی و همکاران در مطالعه خود بر روی بررسی اثر گندزدایی آب با کلر بر رها سازی و حذف اندوتوکسین گزارش نمودند که کلر به عنوان یک گندزدای متداول، باعث گندزدایی عوامل باکتریایی گرم منفی و رهاسازی اندوتوکسین می‌گردد ولی کلر آزاد موجود در مدت زمان متداول گندزدایی (۳۰-۱۵ دقیقه) تاثیری بر حذف اندوتوکسین ندارد (۱۶). مجموعاً می‌توان چنین نتیجه گرفت که فرآیند کلرزنی که با هدف بهبود کیفیت میکروبی آب آشامیدنی به کار می‌رود، علاوه بر این‌که نمی‌تواند اندوتوکسین را به‌طور موثری حذف کند، حتی ممکن است باعث افزایش غلظت اندوتوکسین نیز گردد. به‌طور کلی در این مطالعه تفاوت غلظت اندوتوکسین در دو فصل تابستان و پاییز از لحاظ آماری معنی‌دار نبود براساس آزمون تی زوجی تغییرات غلظت اندوتوکسین در واحدهای پیش کلرزنی ($p=0/028$)، زلال‌ساز ($p=0/028$) و فیلتراسیون شنی ($p=0/028$) معنی‌دار بوده است. اما این تغییرات در سایر واحدها معنی‌دار نبود ($p>0/05$). علاوه بر این داده‌های به‌دست آمده در این مطالعه ارتباطی معنی‌دار بین غلظت اندوتوکسین کل و کدورت ($r=0/498$) مشاهده شد اما ارتباط اندوتوکسین با سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده مشاهده نشد. این در حالی است که رافالا و همکاران ارتباطی هرچند ضعیف اما معنی‌دار، بین غلظت اندوتوکسین در نمونه آب و شمارش باکتری‌های هتروتروف ($r=0/48$) گزارش کردند (۲۲). علت این تفاوت می‌تواند منابع آب مختلف، تفاوت در جمعیت میکروبی غالب در نمونه آب، تاثیر روش‌های مختلف تصفیه، وجود یا عدم وجود پیش کلرزنی در تصفیه خانه و ... باشد.

می‌گردد. با توجه به این یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که در تصفیه خانه‌های متداول آب با حذف موثرتر و کاراتر ذرات درشت می‌توان به میزان بالاتری از حذف اندوتوکسین دست یافت. با این وجود، فرآیندهای غیر فعال‌سازی میکروبی موثر همانند فرآیندهای گندزدایی و کلرزنی متداول در تصفیه‌خانه‌ها نه تنها قادر به حذف موثر اندوتوکسین نیستند بلکه حتی ممکن است باعث افزایش آن نیز بشوند.

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این مطالعه برای تعیین میزان آلودگی آب خام با اندوتوکسین و تاثیر فرآیندهای تصفیه آب بر حذف آن انجام گرفت. غلظت‌های اندوتوکسین در آب خام و خروجی تصفیه خانه به ترتیب $17/62-54/5$ Eu/ml و $13/9-38/9$ Eu/ml بود و فرآیندهای تصفیه باعث کاهش ۳۴ درصد اندوتوکسین شدند. به نظر می‌رسد در طی فرآیندهایی از تصفیه آب که منجر به کاهش جامدات معلق و کلوئیدی در فرآیند تصفیه می‌شوند، اندوتوکسین به‌طور موثرتری حذف

References

1. Zhang K, Farahbakhsh K. Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: implications to water reuse. *Water Res* 2007; 41(12): 2816-2824.
2. Costán-Longares A¹Montemayor M, Payán A, Méndez J, Jofre J, Mujeriego R, et al. Microbial indicators and pathogens: removal, relationships and predictive capabilities in water reclamation facilities. *Water Res* 2008; 42(17): 4439-4448.
3. Huang H, Wu QY, Yang Y, Hu HY. Effect of chlorination on endotoxin activities in secondary sewage effluent and typical Gram-negative bacteria. *Water Res* 2011; 45(16): 4751-4757.
4. Barcón T, Alvariano T, Gomez M, Omil F. Strategies to minimize the release of endotoxins in effluents from sewage treatment plants. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 2014. 34(2): 432-436.
5. Oh BT, Seo YS, Sudhakar D, Choe JH, Lee SM, Park YJ, et al. Oxidative degradation of endotoxin by advanced oxidation process (O₃/H₂O₂ & UV/H₂O₂). *J Hazard Mater* 2014; 279: 105-110.
6. De Man H, Heederik DD, Leenen EJ, de Roda Husman AM, Spithoven JJ, van_Knapen F. Human exposure to endotoxins and fecal indicators originating from water features. *Water Res* 2014; 51: 198-205.
7. Annadotter H, Gronberg G, Nystrand R, Rylander R. Endotoxins from cyanobacteria and gram-negative bacteria as the cause of an acute influenza-like reaction after inhalation of aerosols. *EcoHealth* 2005; 2(3): 209-221.
8. Anderson WB, Slawson RM, Mayfield CI. A review of drinking-water-associated endotoxin, including potential routes of human exposure. *Can J Microbiol* 2002; 48(7): 567-587.
9. Blechova R, Pivodova D. Limulus amoebocyte lysate (LAL) test-An alternative method for detection of bacterial endotoxins. *Acta Vet Brno* 2001; 70(3): 291-296.
10. Sushruta M, Anubha K. An overview of limulus amoebocyte lysate (LAL) test. *International Research Journal of Pharmacy (IRJP)* 2011; 2(4): 67-71.
11. Anderson WB, Mayfield CI, Dixon DG, Huck PM. Endotoxin inactivation by selected drinking water treatment oxidants. *Water Res* 2003; 37(19): 4553-4560.
12. Anderson WB, Mayfield CI, Huck PM. Endotoxin release from biologically active bench-scale drinking water anthracite/sand filters. *J Water Supply Res T* 2008; 57(8): 585-597.

13. Ghasemian-Safaii H, Yazdani F, Navab Akbar R, Vazirzadeh GH. Measurement of endotoxin levels in blood of hemodialysis Patients by Lal'test and comparison of its efficacy with blood culture. J Shahid Sadoughi Univ Med Sci 2006; 13(5): 9-14.
14. Can Z, Wenjun L, Wen S, Minglu Z, Lingjia Q, Cuiping L, et al. Endotoxin contamination and control in surface water sources and a drinking water treatment plant in Beijing, China. Water Res 2013; 47(11): 3591-3599.
15. Guizani M, Yusuke N, Dhahbi M, Funamizu N. Characterization of endotoxic indicative organic matter (2-keto-3-deoxyoctulosonic acid) in raw and biologically treated domestic wastewater. Water Res 2011; 45(1): 155-162.
16. Rezaii A, ghanizadeh Gh, Yazdanbakhsh A R, Behzadian nejad Gh, Khavanin A, Khavanin A, et al. Effect of water disinfection with chlorine on release and removal of endotoxin. J Mil Med 2008; 9(4): 249-256.
17. REZAEI A, Ghani zadeh G, Yazdanbakhsh AR, Behzadian nejad G. Endotoxin removal from water using heterogenous catalytic ozonation by bone char. Quarterly Water and Wastewater 2011; 22(3): 26-31.
18. Anderson WB, Huck PM, Dixon DG, Mayfield CI. Endotoxin inactivation in water by using medium-pressure UV lamps. Appl Environ Microbiol 2003; 69(5): 3002-3004.
19. World Health Organization(WHO). TEST FOR BACTERIAL ENDOTOXINS [Internet]. World Health Organization. 2012.
20. American Public Health Association (APH). Standard methods for the examination of water and wastewater. (APHA), 1999.
21. Gehr R, Parent Urib S, Da Silva Baptista IF, Mazer B. Concentrations of endotoxins in waters around the island of Montreal, and treatment options. Water Qual Res J Can 2008; 43(4): 291-303.
22. Rapala J, Lahti K, Räsänen LA, Esala AL, Niemelä SI, Sivonen K. Endotoxins associated with cyanobacteria and their removal during drinking water treatment. Water Res 2002; 36(10): 2627-2635.